

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



Коротенко Олена Володимирівна

УДК 655.3.066.364

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ БАНКНОТ ПІД ЧАС
МЕТАЛОГРАФІЧНОГО ДРУКУ**

Спеціальність 05.05.01 – машини і процеси поліграфічного виробництва

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі технології поліграфічного виробництва Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Киричок Тетяна Юріївна,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
директор Видавничо-поліграфічного інституту

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гавенко Світлана Федорівна,
Українська академія друкарства, завідувач кафедри
поліграфічних медійних технологій і пакувань

кандидат технічних наук, доцент
Несхозиєвський Антон Вікторович,
ТОВ «ЯВА-ІН», комерційний директор

Захист відбудеться «22» лютого 2018 р. о 15.00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.10 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», за адресою: 01025, м. Київ, вул. Володимирська, 7 (корпус 25), ауд. 10.

З дисертацією можна ознайомитися у Науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», за адресою 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «___» січня 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
К. Т. Н.



Т. Є. Клименко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Металографічний друк (інтагліодрук) є одним з основних методів захисту і використовується лише для виготовлення цінних паперів та документів сурового обліку, зокрема банкнот, в усьому світі. Особливість цього методу друку полягає в можливості формування штрихів з різною товщиною фарбового шару (до 320 мкм), що сприймаються не тільки візуально, а й тактильно. Ця властивість металографічного друку забезпечує ідентифікацію справжності захищеної продукції в умовах неконтрольованого оточення, у тому числі ідентифікацію номіналу банкнот людьми з вадами зору. Тож забезпечення високої якості відтворення металографічного друку на банкнотах є важливим завданням державного значення, оскільки це не лише підвищує рівень соціальної довіри до цінних паперів та паперів сурового обліку, а й створює умови для інтеграції людей з вадами зору в суспільство.

Технологія металографічного друку базується на відомих технологічних методах – друкуванні із заглиблених друкарських елементів гравійованих друкарських форм густими фарбами під великим тиском у друкарській парі, однак ґрунтового унормування процесу фарбоперенесення при металографічному друці на сьогодні немає. Бракує також досліджень характеру руху фарби з гравійованих елементів друкарської форми на задруковуваний матеріал та подальшого формування фарбового шару залежно від геометричних параметрів гравійованих елементів друкарської форми та від технологічних режимів процесу друкування. Відповідно, немає науково обґрунтованих рекомендацій щодо регулювання технологічних параметрів друкування, що має наслідком нестабільність процесу та неможливість прогнозування якості відбитків металографічного друку, що особливо важливо під час переходу банкнотного виробництва, зокрема Банкотно-монетного двору Національного банку України (БМД НБУ), на використання інноваційних форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням.

У зв'язку з неповнотою теоретичних та практичних напрацювань щодо металографічного друку, виявлення закономірностей формування фарбового шару та його залежностей від впливу технологічних параметрів процесу задля забезпечення якісних відбитків є актуальним науково-технічним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалася на кафедрі технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» і є складовою частиною досліджень за господарськими договорами, виконаними на замовлення БМД НБУ:

1. № 12.07.98 від 27.04.2012 «Дослідження факторів, які впливають на зносостійкість банкнот, виготовлених на двошаровому папері» (номер державної реєстрації – 0112U005296). Здобувачка брала участь у розробленні методики, проведенні експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів металографічного друку на зносостійкі характеристики банкотної продукції та проведенні обробки й аналізу отриманих експериментальних даних;

2. № 13.07.78 від 25.03.2013 «Дослідження впливу фарб металографічного друку, їх композиційного складу на експлуатаційні властивості банкнотних

відбитків» (номер державної реєстрації – 0113U004832), у якому здобувачкою встановлено залежність показників зносостійкості банкнот від композиційного складу фарб металографічного друку за різних технологічних режимів;

3. № 14-07-117 від 16.04.2014 «Дослідження впливу геометричних параметрів друкарських елементів інтагліо форм на друкарсько-технічні властивості відбитків» (номер державної реєстрації – 0115U005170), в якому здобувачкою розроблено методику дослідження на основі профілометричного та мікроскопічного аналізу, проведено експерименти та на основі результатів дослідження розроблено рекомендації щодо поліпшення технологічного процесу металографічного друку.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є встановлення закономірностей впливу технологічних факторів металографічного друку на якість відбитків для розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо регулювання параметрів процесу фарбоперенесення та прогнозування показників якості утворюваних відбитків.

Для досягнення мети було поставлено й вирішено такі завдання:

- здійснити огляд науково-технічної літератури в галузі з метою аналізу сучасного стану та проблем металографічного друку;
- здійснити теоретичний аналіз фарбоперенесення та формування фарбових шарів у процесі металографічного друку;
- визначити об'єкти та методи експериментального дослідження, за допомогою яких провести експериментальне дослідження впливу основних технологічних параметрів на якість відбитків металографічного друку;
- проаналізувати результати експериментальних досліджень;
- розробити систему технологічного забезпечення якості у процесі металографічного друку.

Об'єктом дослідження є технологічний процес металографічного друку банкнотних відбитків.

Предметом дослідження є взаємний зв'язок технологічних параметрів та якості фарбових шарів металографічного друку.

Методи досліджень. Використано комплексний підхід до проведення досліджень – поєднання теоретичних і експериментальних досліджень. Для вирішення поставлених завдань використано профілометричні методи дослідження поверхні зразків (механічна, оптична профілометрія); мікроскопічні методи дослідження поверхні та мікротомних зрізів зразків; органолептично-експертний метод тактильної дискримінації зразків; експертний аналіз якості зразків.

Наукова новизна отриманих результатів.

У дисертації одержано такі нові наукові результати:

Уперше:

- розроблено узагальнену ієрархічну модель формування якості відбитків металографічного друку, у якій визначено групу показників якості металографічного друку, та виділено основні фактори впливу на неї, що в поєднанні з розробленим комплексом моделей залежності якості відбитків від технологічних факторів дозволяє визначати умови якісного технологічного процесу металографічного друку;

- розроблено детальну феноменологічну модель та математичний опис процесу фарбоперенесення в металографічному друці, що уможливило передбачення якості відбитків та дозволяє визначати функцію залежності кількості фарби, що переноситься, від технологічних параметрів друкування;

удосконалено:

- концептуальну модель формування фарбового рельєфу металографічного друку, зокрема здійснено моделювання впливу інерційності та теплообмінних процесів на формування фарбового шару, що в сукупності з уперше експериментально встановленими залежностями властивостей фарбового рельєфу від параметрів друкарської форми (виду профілю, кута нахилу бічних стінок, ширини, глибини гравійованих елементів, ширини пробільних елементів) та друкарського процесу (тиску в друкарському контакті, швидкості друкування) дозволяє цілеспрямовано впливати на якість відбитків;

подальшого розвитку набула:

- модель впливу профілю тиску в друкарському контакті та виду профілю гравійованих елементів форми на процес проникнення та розподіл фарби в структурі паперу, що в поєднанні з уперше експериментально визначеними залежностями глибини проникнення та характеру розподілу фарби в об'ємі основи від технологічних факторів дозволяють прогнозувати та унормовувати процес фарбового проникнення в основу для підвищення якості закріплення та відтворення фарбового шару металографічного друку.

Практичне значення отриманих результатів

1. Створено систему технологічного забезпечення якості відбитків металографічного друку із застосуванням розробленого програмного забезпечення визначення залежності показників якості друкування від технологічних факторів та програмного забезпечення визначення товщини фарбового шару відбитків за профілометричними даними, користуючись якою в умовах виробництва можна підвищити автоматизацію процесу контролю якості відбитків, унормовувати їх відтворення та покращувати параметри за рахунок корегування технологічних режимів друкування, а також сформульовано науково обґрунтовані рекомендації щодо регулювання параметрів процесу фарбоперенесення та прогнозування показників якості утворюваних відбитків.

2. Розроблено методику визначення узагальненого показника якості відбитків металографічного друку на основі оцінювання групи запропонованих одиничних показників, до якої належать: товщина фарбового шару, величина вертикального та бічного проникнення фарби, крайових кутів надрукованих штрихів, коефіцієнт втрати товщини фарбового шару, показники розтікання та шприцювання фарби, відсоток тактильної дискримінації та візуальна оцінка зразків, що дозволяє підвищити об'єктивність оцінювання та визначати вагомість впливу параметрів технологічного процесу на якість відбитків металографічного друку.

3. Запропоновано окремі конструктивні рішення пристрою, якими прискорено погіршують фізичний стан банкотної продукції з метою імітації зношування банкнот, та пристрою, призначеного для контролю механічної стійкості фарбового шару, а також удосконалено методику оцінювання зношеності банкнот з метою підвищення достовірності встановлення зношеності, котрі дозволяють

підвищити ефективність досліджень, спрямованих на збільшення зносостійкості банкотної продукції. Новизну запропонованих технічних рішень захищено патентами на корисну модель України № 103510, № 118347 та №102351.

4. Розроблено технологічні рекомендації щодо оперативного прогнозування показників якості друкування при зміні технологічних факторів процесу, які забезпечують економічний ефект у розмірі 55,27 тис. грн та 18,45 тис. грн від їх впровадження у виробництво за рахунок зменшення кількості браку матеріалів, що підтверджено актом впровадження на Державному підприємстві «Київська офсетна фабрика» та в Державному видавництві «Преса України» Державного управління справами. Надано рекомендації БМД НБУ щодо забезпечення якості металографічного друку при використанні форм, виготовлених прямим лазерним гравіюванням.

5. Результати досліджень впроваджено в навчальний процес на кафедрі технології поліграфічного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського при підготовці фахівців за спеціалізацією «Поліграфічні медіатехнології» (спеціальність 186 «Видавництво та поліграфія») за освітнім ступенем «бакалавр» під час проведення практичних та лабораторних робіт з дисципліни «Поліграфічне матеріалознавство» та за освітнім ступенем «магістр» у лекційному курсі і практичних роботах з дисципліни «Захист інформації в поліграфії».

Особистий внесок здобувача. Робота є результатом самостійних досліджень здобувачки, передбачених обраною тематикою.

У публікаціях у співавторстві здобувачці належить: [1, 2, 4, 12] – літературний огляд за темою дослідження, проведення експериментальних досліджень, аналіз результатів, обґрунтування висновків; [3, 5, 16] – розроблення робочої гіпотези та методики дослідження; [6] – розроблення класифікації факторів впливу на товщину фарбового шару на відбитках металографічного друку; [7] – адаптування методики тактильної дискримінації для зразків, надрукованих металографічним друком при різних геометричних параметрах друкувальних елементів друкарської форми; [8] – порівняльний аналіз контактної та безконтактної профілометрії при дослідженні зразків, надрукованих металографічним друком, на основі проведених авторкою експериментальних досліджень; [9] – розроблення методики візуальної оцінки зношеності фарбових шарів металографічного друку; [10, 11] – розроблення окремих конструктивних елементів пристроїв.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися на засіданнях кафедри технології поліграфічного виробництва та науково-практичних семінарах Видавничо-поліграфічного інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського, а також на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях: Тринадцятій міжнародній науково-технічній конференції студентів і аспірантів «Друкарство молоде» (м. Київ, квітень 2013 р.); Чотирнадцятій міжнародній науково-технічній конференції студентів і аспірантів «Друкарство молоде» (м. Київ, квітень 2014 р.); Міжнародному науково-технічному семінарі студентів і аспірантів, професорсько-викладацького складу «Технологія і техніка друкарства: новітні технології і обладнання поліграфії» (м. Київ, 2013 р.); Конференції професорсько-викладацького складу, наукових співробітників та аспірантів (з міжнародною участю) «Видавнича справа та поліграфія» (м. Мінськ,

1–12 лютого 2016 р.); II Міжнародному форумі «Скоринівські читання 2016: книга як феномен культури, мистецтва, технології» (м. Мінськ, 6–7 вересня 2016 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 16 наукових праць, у тому числі 8 статей у наукових фахових виданнях, з них 1 – у міжнародному фаховому виданні, 5 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій, отримано 3 патенти України на корисну модель.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків і додатків. Обсяг рукопису становить 268 сторінки; робота містить 96 рисунків, 13 таблиць, 115 найменувань у списку літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано її мету та завдання, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження, подано наукову новизну, практичну цінність отриманих результатів, зв'язок роботи з науковими програмами, наведено дані про апробацію, впровадження результатів роботи та публікації. Викладено головні наукові й практичні результати досліджень.

У **першому розділі «Аналіз сучасного стану та проблем металографічного друку»** на основі аналізу фахової літератури, науково-технічних і патентних джерел було сформульовано гіпотезу дослідження, яка полягає в тому, що найбільш дієвими засобами впливу на якість фарбового рельєфу є геометричні параметри друкарської форми, а також технологічні параметри друкування, такі як тиск та швидкість.

На основі аналізу розроблено ієрархічну модель формування якості відбитків металографічного друку (рис. 1), сформовану двома рівнями – показниками якості та факторами формування цих показників із зазначенням коефіцієнтів вагомості факторів впливу на кінцеву якість продукції.

На основі ієрархічної моделі формування якості відбитків визначено умови якісного технологічного процесу металографічного друку, а саме: достатній тиск у друкарському контакті для здійснення фарбоперенесення та подальшого закріплення фарби на задруковуваному матеріалі; достатній час контакту друкарської форми із задруковуваним матеріалом; забезпечення рівномірного розподілу тиску вздовж усієї лінії друкарського контакту; високі показники фарбосприйняття та фарбовіддачі гравійованих елементів друкарської форми; забезпечення достатнього технічного зазору між формним та стиральним циліндрами для повного стирання фарби із пробільних елементів, однак запобігання надлишковому вигрібанню фарби із друкувальних елементів друкарської форми; швидке закріплення фарбового шару (без додаткового сушіння).

У **другому розділі «Теоретичний аналіз фарбоперенесення та формування фарбових шарів у процесі металографічного друку»** проаналізовано наукові підходи до моделювання та прогнозування процесу руху фарби у друкарському контакті та формування фарбової плівки у процесі металографічного друку. У ході аналізу було розроблено феноменологічну модель (рис. 2) та здійснено математичний опис фізичних процесів, які відбуваються під час фарбоперенесення при металографічному друці, що уможливорює передбачення та цілеспрямоване корегування якості утворюваних відбитків.

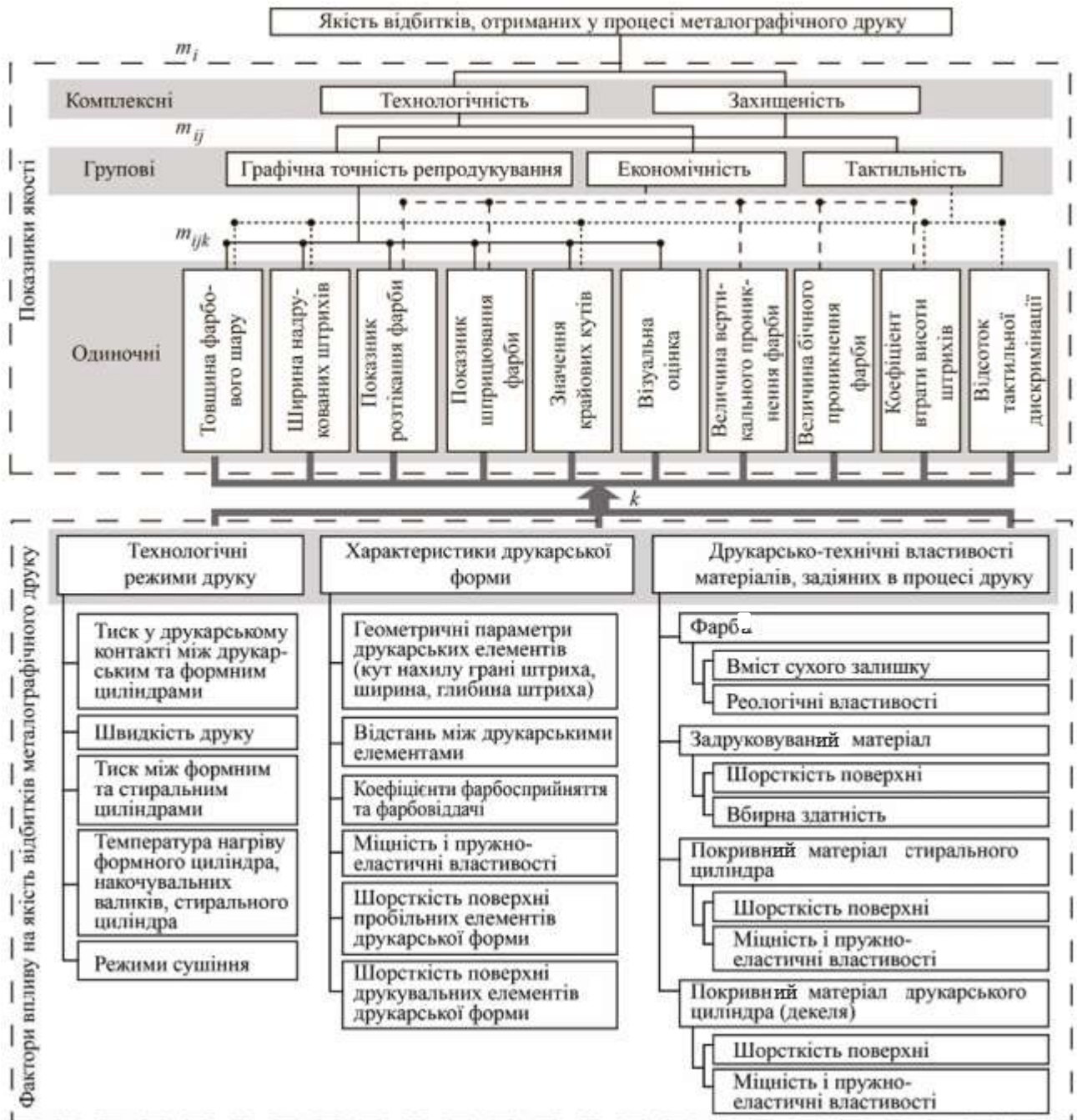


Рис. 1. Ієрархічна модель формування якості відбитків металографічного друку

Математичний опис здійснено із використанням моделі *Oldroyd-B*, за допомогою якої було визначено, що до процесу фарбоперенесення у металографічному друці можливо застосовувати рівняння Нав'є-Стокса для в'язкої нестисливої рідини. Це, у свою чергу, дозволяє визначати функцію залежності кількості фарби, що переноситься, від технологічних параметрів друкування, а саме градієнта тиску в контакті та швидкості друкування.

Для встановлення динаміки розподілу фарби в товщі основи задрукованого матеріалу при металографічному друці здійснено моделювання фарбового проникнення, що дозволяє визначати глибину проникнення фарби залежно від профілю тиску, який діє упродовж усього друкарського контакту. Визначено, що профіль тиску має синусоїдальну форму, проте асиметричну (рис. 3). Відповідно,

асиметричність профілю тиску впливає на асиметричність глибини проникнення фарби: у режимі стиснення тиск у друкарському контакті зростає, тож глибина проникнення фарби в пори, відповідно до рівняння, також зростає; після досягнення свого найбільшого значення тиск одразу спадає, відповідно і глибина проникнення також зменшується. Режим розщеплення чинить негативний вплив на глибину проникнення фарби в товщу основи.

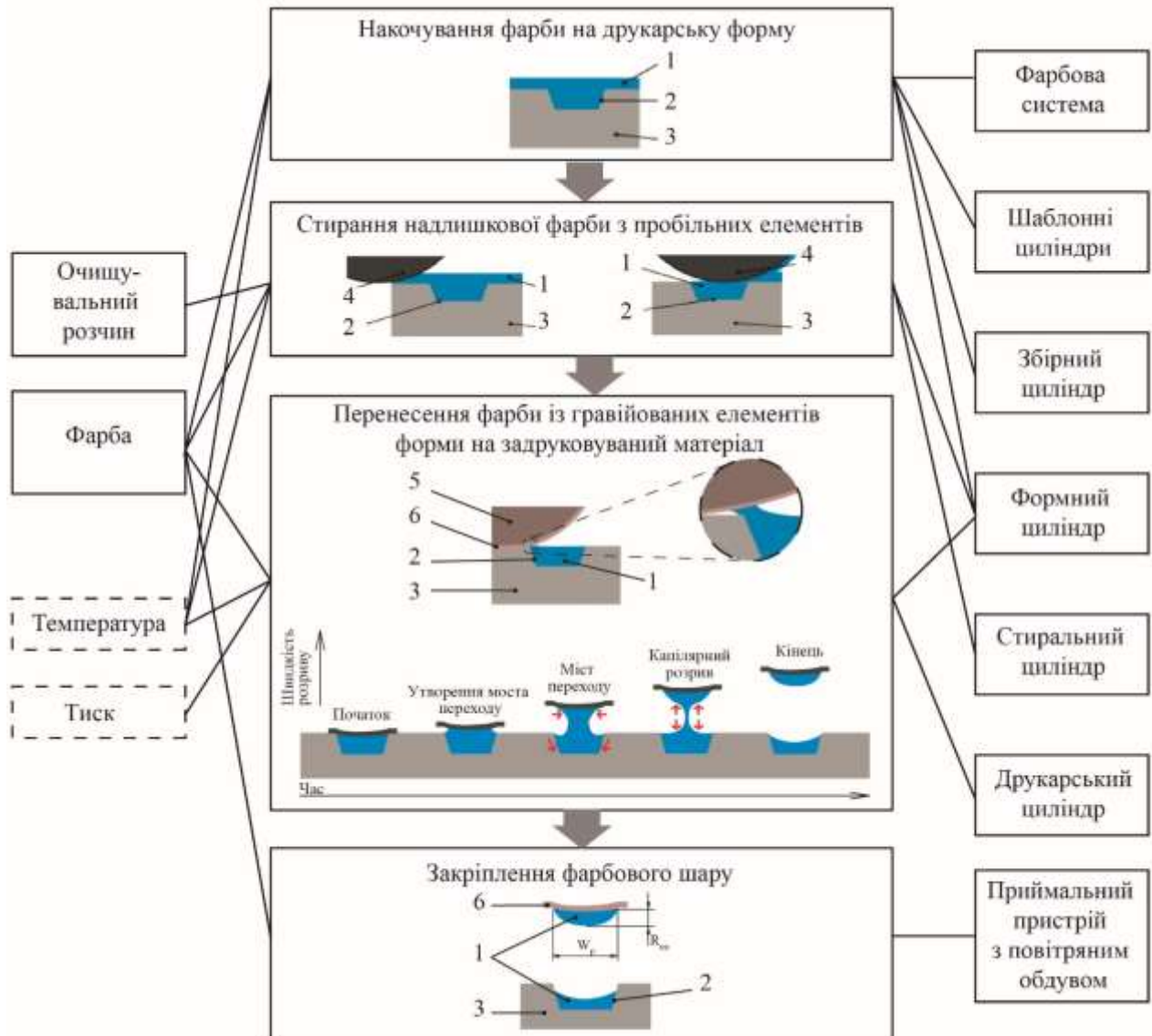


Рис. 2. Феноменологічна модель фарбоперенесення у процесі металографічного друку, де 1 – друкарська фарба, 2 – гравійований друкувальний елемент, 3 – друкарська форма, 4 – стиральний циліндр, 5 – друкарський циліндр, 6 – задруковуваний матеріал

Проаналізувавши динаміку теплового впливу на різні ділянки паперу, зроблено висновок про те, що ділянка паперу з температурою T_{amb} , яка входить першою в контакт з формою (AB), швидше досягає температури T_{nir} друкарського контакту, після чого остигає і досягає рівноважної температури T_{eq} , ніж ділянка, яка входить у контакт з формою (FG) другою, і, очевидно, ніж ділянка, яка входить у контакт з друкарськими елементами форми, заповненими нагрітою фарбою (BF) (рис. 4). Такі специфічні аспекти теплообміну в друкарському контакті пояснюють асиметричну

форму поперечного перерізу штрихів, отриманих металографічним друком, та неоднорідне фарбове проникнення.

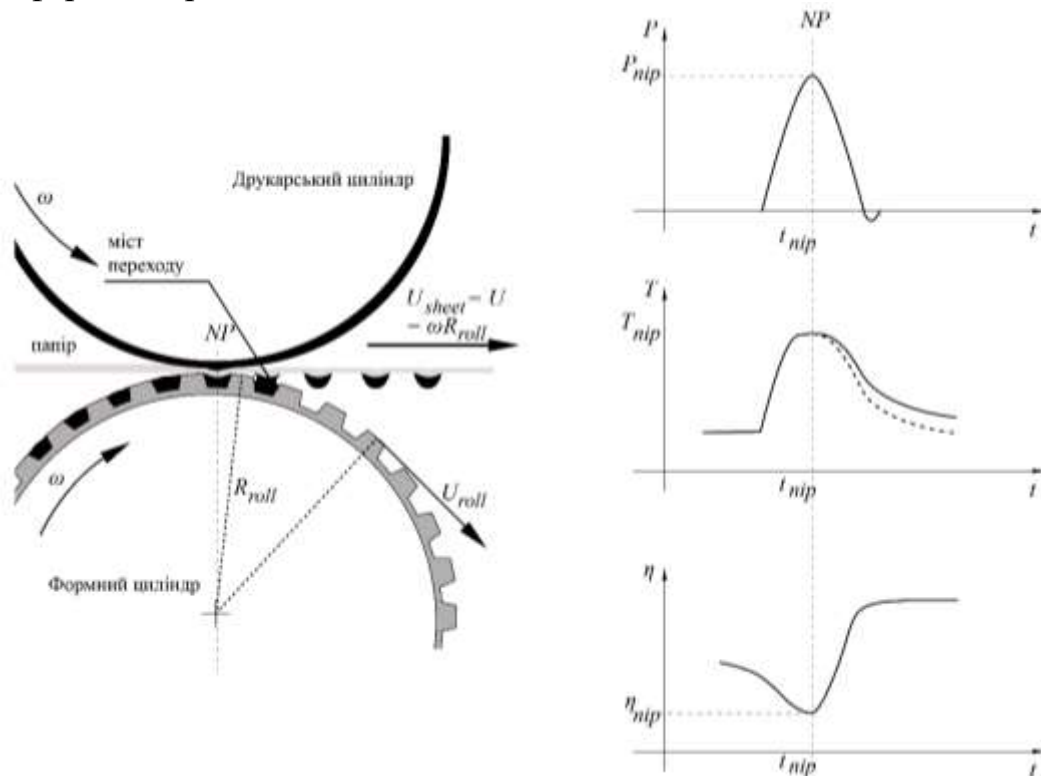


Рис. 3. Профіль тиску P , температури t та в'язкості фарби η у процесі друкарського контакту (nip) під час металографічного друку, NP – точка найтіснішого контакту

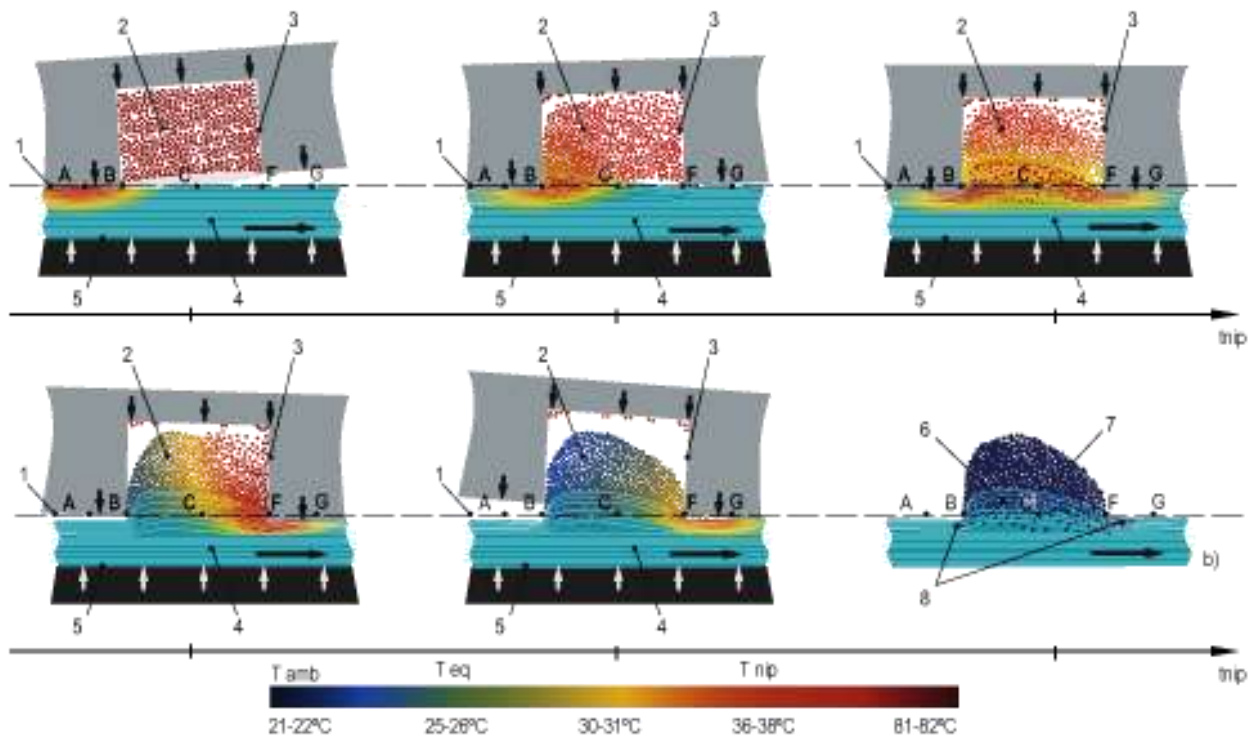


Рис. 4. Модель фарбового проникнення друкарської фарби і формування рельєфу металографічного друку – опис теплообміну, деформування паперу й формування фарбового шару під час друкарського контакту: 1 – лицева сторона паперу, 2 – фарба, 3 – бічна стінка гравійованого друкарського елемента, 4 – паперові волокна, 5 – зворотна сторона паперу, 6 – підфарбовий рельєф; 7 – фарбовий шар; 8 – бічне проникнення фарби

Асиметричність форми поперечного перерізу штрихів, отриманих металографічним друком, обумовлюється також інерційністю процесу, яка залежить, передусім, від швидкості друкування. Визначено, що за надто високої швидкості друку міст переходу фарби може руйнуватися набагато раніше, що може спричинити часткове перенесення фарби. Зі збільшенням швидкості друкування U зростає і горизонтальний розподіл між центрами мосту переходу, які формуються на контактуючих поверхнях. Це, у свою чергу, має вплив на кривину поверхні утворюваної краплі на поверхні задруковуваного матеріалу. На рис. 5 наведено модель, де видно, що за більшого значення швидкості спостерігається більша асиметричність утворюваної краплі.

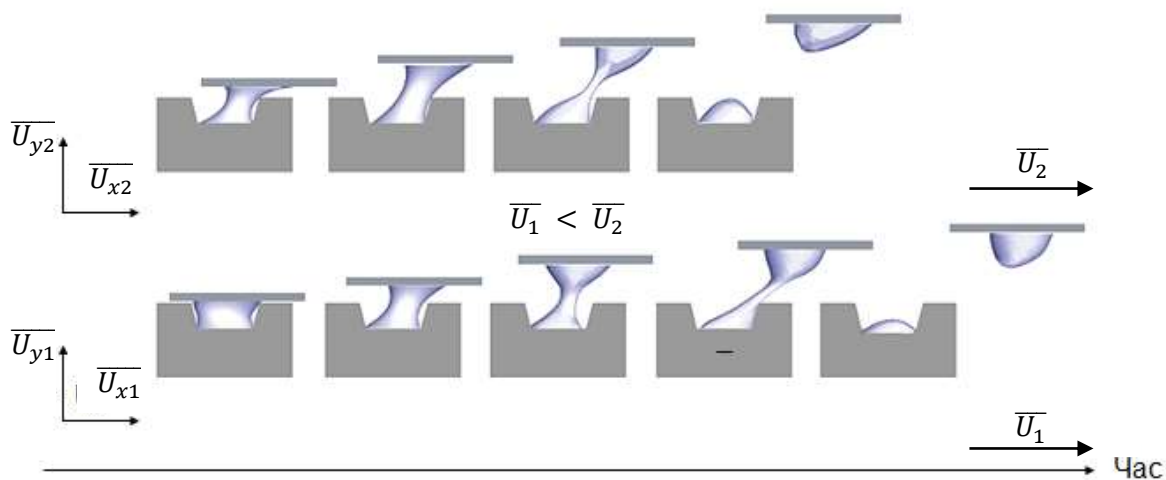


Рис. 5. Модель формування фарбового шару залежно від швидкості друкування

Важливо також урахувати, що у момент друкарського контакту паперові волокна вигинаються в гравійовані елементи форми, окреслюючи кути нахилу їх бічних стінок, таким чином формуючи підфарбовий рельєф. Це стає причиною різного рівня бічного поширення фарби вздовж волокон паперу при використанні різних кутів нахилу бічних стінок. Щоб передбачити якісні характеристики відбитків, було здійснено моделювання впливу профілю гравійованих елементів на проникнення і характер розподілу фарби у структурі задруковуваного матеріалу.

У третьому розділі «Методика проведення експериментальних досліджень» запропоновано комплексну методику проведення експериментальних досліджень для перевірки правильності математичного опису процесу фарбоперенесення, яка дозволила виявити закономірності впливу параметрів технологічного процесу на показники якості відбитків.

Дослідні зразки виготовлені на банкнотному виробництві з дотриманням відповідних умов на аркушевій друкарській машині *De La Rue Giori S.A. Super-Orlof-Intaglio*; друкарські форми виготовлено за технологією *DLE (Direct Laser Engraving)*; для експериментальних досліджень використано сучасне технологічне метрологічно каліброване устаткування: модуль для вимірювання профілю (контактний голковий профілометр моделі 296), інтерференційний 3D профілометр *Micron-alpha*, монокулярний цифровий мікроскоп Мікротех МОЦ-45, світловий мікроскоп *Axiostar Imager* виробництва *Carl Zeiss*, обладнаний цифровою камерою *AxioCam ERc5s* та системою візуалізації з програмним забезпеченням *AxioVision Rel. 4.9.1 SP1*. Статистичну обробку результатів дослідження здійснено в системі *Statistica 13.2*. Для

розробки програмного забезпечення для прогнозування показників якості друкування використано метод групового врахування аргументу (МГУА) за комбінаторним алгоритмом (COMBI).

Методологія дослідження базується на профілометричному аналізі відбитків із застосуванням двох різних методів – механічної та оптичної профілометрії та на мікроскопічних дослідженнях як поверхні відбитків, так і мікротомних зрізів зразків. Останнє було також використано під час вивчення процесів проникнення та розподілу фарби металографічного друку в товщі паперу.

Група показників якості, які підлягали дослідженню (рис. 6): товщина фарбового шару R_{int} , ширина надрукованих штрихів W_{print} , величини вертикального проникнення фарби P_{int} , бічного проникнення фарби $R = (R_{left} + R_{right}) / 2$, лівого та правого крайових кутів надрукованих штрихів θ_{left} та θ_{right} , коефіцієнт втрати товщини фарбового шару $k_r = (D_{plate} - R_{int}) / D_{plate} \cdot 100\%$ (D_{plate} – глибина гравіювання штрихів друкарської форми), показник шприцювання («вусатості») фарби N_h , показник розтікання фарби $k_w = (W_{print} - W_{plate}) / W_{plate} \cdot 100\%$ (W_{plate} – ширина гравіювання штрихів друкарської форми), відсоток тактильної дискримінації зразків T_d , візуальна оцінка зразків V_q .

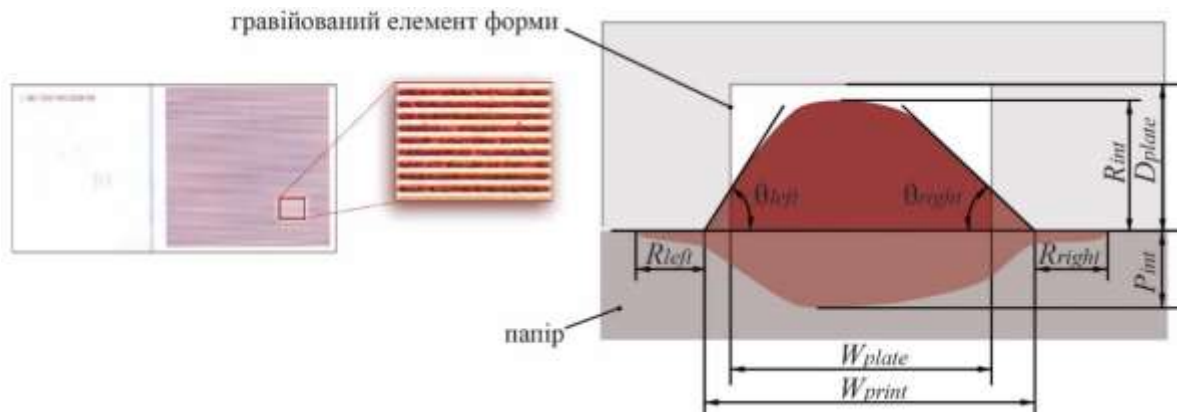


Рис. 6. Зовнішній вигляд дослідного зразка та група показників якості відбитків, що підлягали дослідженню

Для автоматизації визначення висоти штрихів, надрукованих металографічним друком, розроблено програмне забезпечення на основі алгоритму, згідно з яким обрахунок проводиться шляхом аналізу кривої функції $y = f(x)$, що описує отриманий профіль протягування голки упоперек надрукованих штрихів металографічного друку. Висота штрихів H_i , надрукованих металографічним друком, дорівнює модулю проекції векторів $\overline{M_j N_i}$, де точка $M_j(\bar{x}_{\min_j}; \bar{y}_{\min_j})$ є усередненим локальним мінімумом кривої $y = f(x)$, а точка $N_i(\bar{x}_{\max_i}; \bar{y}_{\max_i})$ є наступним найближчим до точки M_j усередненим локальним максимумом кривої $y = f(x)$, на напрям нормального вектора n кривої лінійної інтерполяції точок локальних мінімумів $y_0 = f(\bar{x}_{\min_j})$ на відрізку між точками $M_j(\bar{x}_{\min_j}; \bar{y}_{\min_j})$ та $M_{j+1}(\bar{x}_{\min_{j+1}}; \bar{y}_{\min_{j+1}})$ (точка наступного найближчого усередненого локального мінімуму):

$$H_i = \left| \frac{(y_{\min_{j+1}} - y_{\min_j}) \cdot x_{\max_i} + (x_{\min_j} - x_{\min_{j+1}}) \cdot y_{\max_i} + (x_{\min_{j+1}} \cdot y_{\min_j} - x_{\min_j} \cdot y_{\min_{j+1}})}{\sqrt{(y_{\min_{j+1}} - y_{\min_j})^2 + (x_{\min_j} - x_{\min_{j+1}})^2}} \right|.$$

При умові однорідності вибірки H_i , де $i = \overline{1, p}$ де p – загальна кількість штрихів, згрупованих відповідно до вхідних факторів експерименту, товщина фарбового шару металографічного друку визначається як середнє арифметичне значень висоти штрихів:

$$R_{int} = \overline{H} = \frac{\sum_{i=1}^p H_i}{p} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^z \sum_{k=1}^n H_i}{m \cdot z \cdot n},$$

де m – кількість зразків у вибірці, $m = \overline{1, 10}$; z – кількість зон на 1 зразку, $z = \overline{1, 4}$; n – кількість штрихів на 1 зоні, $n = \overline{1, 25}$.

Методикою також передбачається визначення узагальненого показника якості, за допомогою якого стає можливим об'єктивно оцінювати вплив параметрів технологічного процесу на якість відбитків загалом (рис. 7).

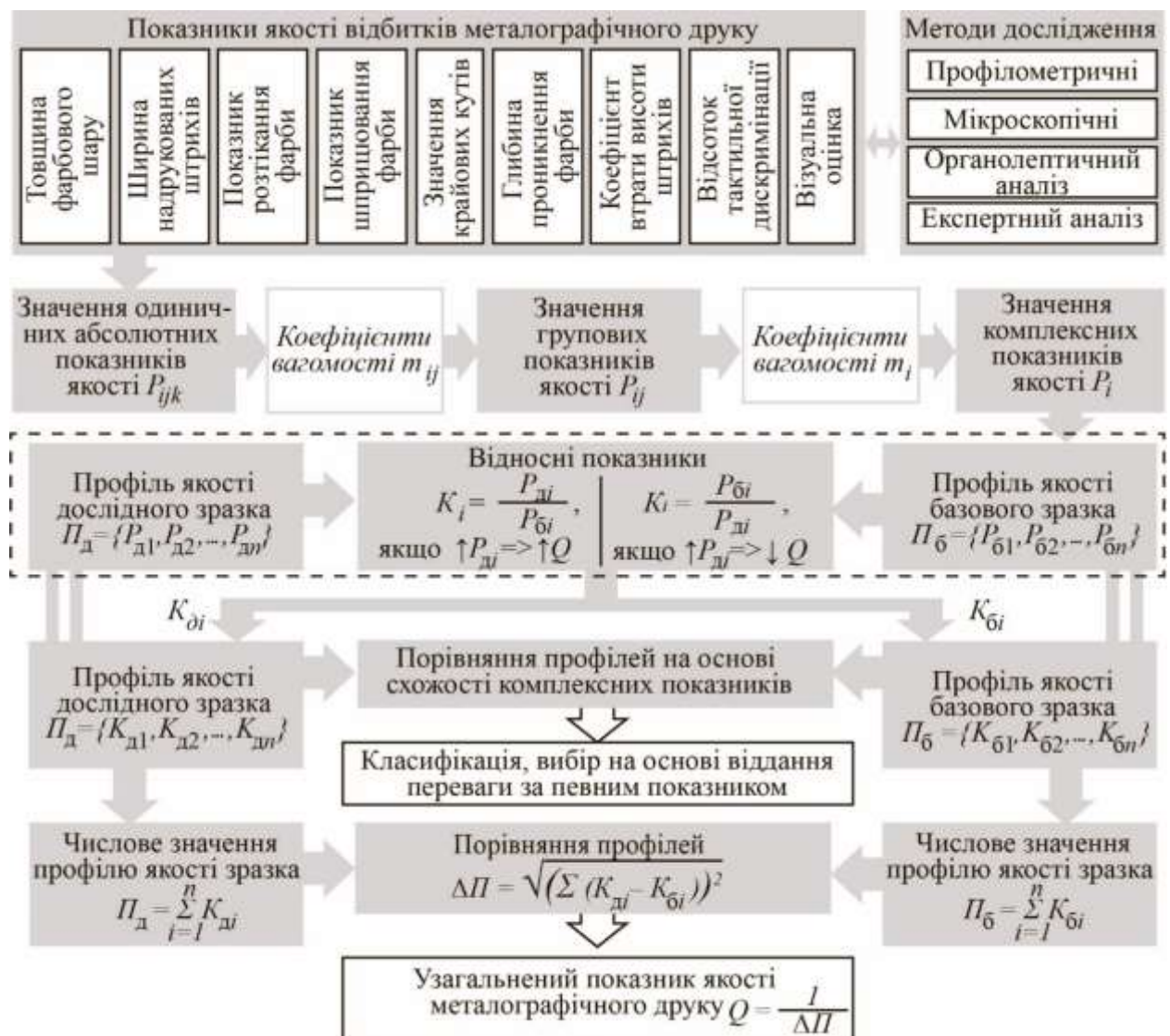


Рис. 7. Методика визначення узагальненого показника якості відбитків металографічного друку

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» подано та проаналізовано результати проведених експериментальних досліджень впливу основних технологічних параметрів металографічного друку на якість формування фарбового шару. Дані мікроскопічних (рис. 8) та профілометричних (рис. 9) досліджень дали змогу підтвердити коректність розробленої моделі впливу теплообмінних та інерційних процесів на процес формування рельєфу фарбових шарів металографічного друку, про що свідчить асиметричність утворюваних штрихів, яка корелюється з розподілом фарби в товщі основи.

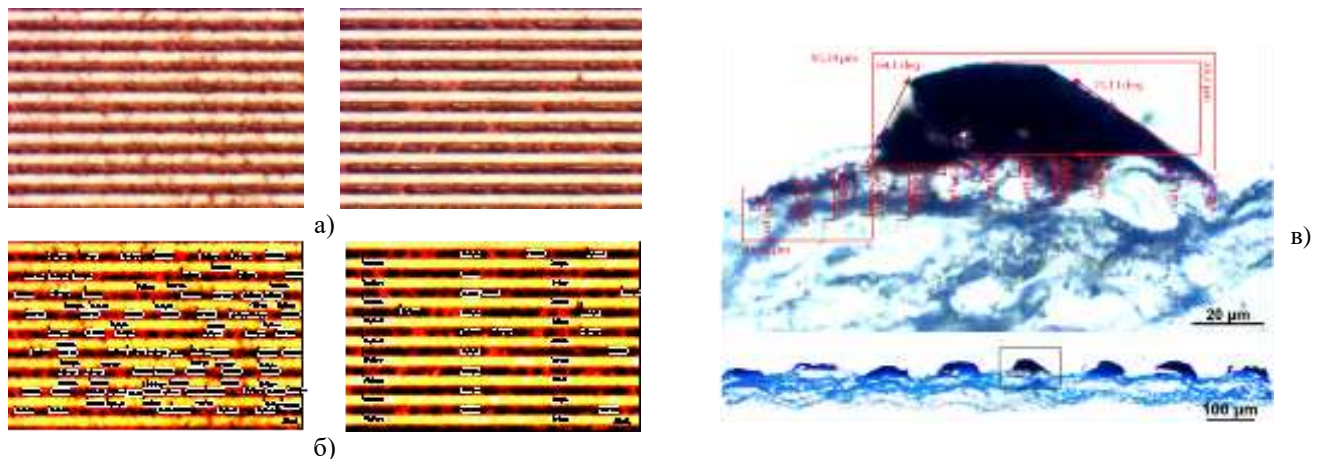


Рис. 8. Результати мікроскопічного аналізу зрізів дослідних зразків: зображення досліджуваних зон зразків у відбивному (а) та прохідному (б) світлі монокулярного цифрового мікроскопа «Мікротех МОЦ-45»; в) зображення мікротомального зрізу зразків, отримане за допомогою світлового мікроскопа *Axiostar Imager* виробництва *Carl Zeiss*

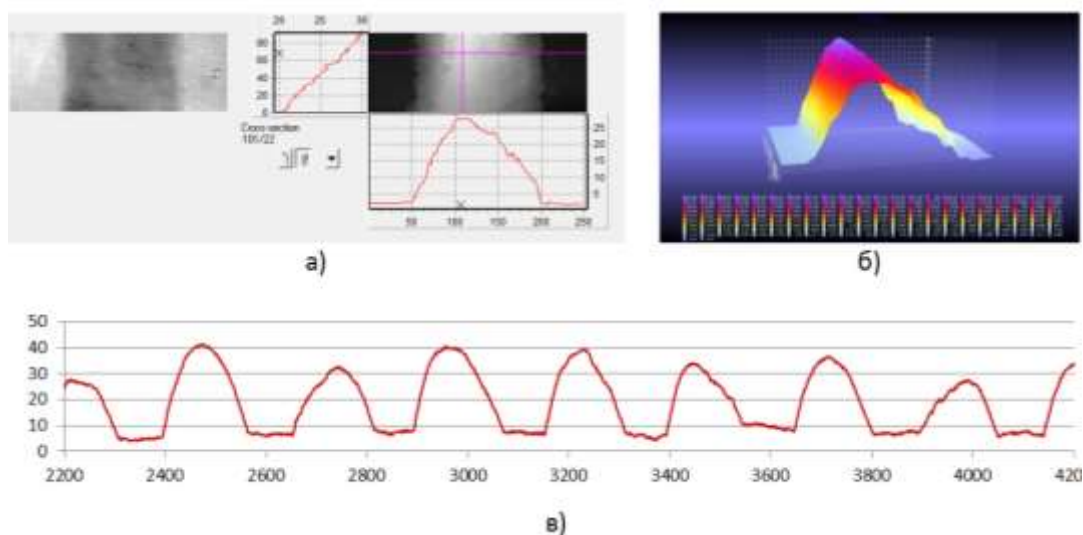


Рис. 9. Профілографування поверхні зразків: а) профілограми штриха в поздовжньому та поперечному напрямі (безконтактний метод); б) 3D – зображення типового штриха; в) профілограма поверхні дослідного зразка (контактний метод)

Результати експериментальних досліджень та взаємний зв'язок між показниками якості відбитків металографічного друку та параметрами технологічного процесу із використанням запропонованого узагальненого показника якості наведено в таблиці, звідки видно, що найбільш дієвим методом корегування якості металографічного друку визначено керування шириною гравійованих

друкувальних елементів – при зміні ширини гравійованих елементів форми від 90 мкм до 150 мкм прямокутного профілю узагальнений показник якості змінюється від 4,10 до 4,65; від 90 мкм до 150 мкм трапецієподібного профілю – від 3,87 до 4,42, від 60 мкм до 150 мкм трикутного профілю – від 3,19 до 3,59.

Ці результати стали підґрунтям для рекомендацій, наданих БМД НБУ за підсумками виконання господарського договору.

Таблиця. Результати експериментальних досліджень залежності показників якості відбитків від параметрів технологічного процесу металографічного друку

Показники якості відбитків металографічного друку	Фактори впливу						
	Друкарський процес		Параметри друкарської форми				
	Швидкість друкування, тис. відб./год	Тиск у друкар- ському контакті	Глибина друкувальних елементів, мкм	Ширина друкувальних елементів, мкм	Ширина пробільних елементів, мкм	Кут нахилу бічних стінок друкувальних елементів	Кут нахилу бічних стінок друкувальних елементів
Діапазон значень							
5–8	min–max	30–100	90–150	40–200	51°–90°		
Товщина фарбового шару R_{int} , мкм	↓*23,4–23,3	↑*22,0–24,0	↑19,0–25,5	↑19,0–27,5	↕*	↑17,1– 23,0	90°
	↓20,8–20,0	↑20,0–21,0	↑18,5–26,0	↑16,2–23,0			75°
	↓21,3–19,5	↑18,5–20,0	↑17,8–22,6	↑16,0–22,4			60°
	↓18,0–16,0	↑18,0–18,0	при 100 мкм– 17,3	60–150 мкм – ↑12,0–18,0			51°
Коефіцієнт втрати товщини фарбового шару, k_r , %	↑59,8–60,1	↓62,0–60,0	↑36,3–74,0	↓66,5–55,0	↕	↓83,2– 60,4	90°
	↑55,5–58,9	↓60,2–58,0	↑39,0–74,5	↓59,0–57,0			75°
	↑55,4–58,7	↓60,5–58,0	↑41,0–76,0	↓61,0–56,0			60°
	↑82,1–84,3	↓82,0–81,2	при 100 мкм – 82,5	60–150 мкм – ↓88,7–81,0			51°
Показник розтікання фарби k_w , %	↑21,5 – 25,0	↓32,5–21,5	↑21,4–28,0	↓30,0–20,0	↕	↓27,1– 25,0	90°
	↑20,3–23,2	↓30,1–18,0	↑17,0–28,0	↓23,0–23,0			75°
	↑20,3–28,0	↓33,2–21,1	↑25,0– 30,5	↓30,0–24,0			60°
	↑20,5–29,5	↓34,0–25,1	при 100 мкм– 27,0	60–150 мкм – ↓38,0–14,0			51°
Показник шприцювання фарби N_h , шт./см	↑8,2–10,7	↓10,0–9,4	↓19,0–5,0	↓13,0–8,0	↕	↓29,3– 10,1	90°
	↑12,1–15,0	↓14,4–12,8	↓21,6–3,4	↓18,5–13,0			75°
	↑12,1–22,1	↓23,0–18,8	↓29,5–9,5	↓22,5–18,5			60°
	↑21,1 –28,7	↓28,0–25,6	при 100 мкм– 26,0	60–150 мкм – ↑14,0–33,5			51°
Величина крайових кутів надрукованих штрихів $\theta_{left}, \theta_{right}$	↓57,6–47,9 (лівий), ↓47,5– 32,7 (правий) (при куті нахилу бічних стінок 90°)	↑42,0–57,7 (лівий), ↑32,0– 42,9 (правий) (при куті нахилу бічних стінок 90°)	–	–	↕	↑43,0– 47,2 (лівий), ↑32,1– 35,2 (правий)	90°
							75°
							60°
							51°
Величина верти- кального проникнення фарби P_{int} , мкм	↓21,6–20,4 (при куті нахилу бічних стінок 90°)	↑13,6–23 (при куті нахилу бічних стінок 90°)	–	–	↕	↑10,3– 21,5	90°
							75°
							60°
							51°

Показники якості відбитків металографічного друку	Фактори впливу												
	Друкарський процес		Параметри друкарської форми										
	Швидкість друкування, тис. відб./год	Тиск у друкарсько- му контакті,	Глибина друкувальних елементів, мкм	Ширина друкувальних елементів, мкм	Ширина пробільних елементів, мкм	Кут нахилу бічних стінок друкувальних елементів	Кут нахилу бічних стінок друкувальних елементів						
								Діапазон значень					
								5–8	min–max	30–100	90–150	40–200	51°–90°
Величина бічного проникнення фарби R , мкм	↓9,1–8,6 (при куті нахилу бічних стінок 90°)	↓10,2–5,7 (при куті нахилу бічних стінок 90°)	–	–	↓	↓25,0–8,5	90°						
							75°						
							60°						
							51°						
Відсоток тактильної дискримінації T_d , %	↑24,3–35,1	↑20,0–35,5	↑22,5–36,0	↓32,0–26,5	↑21,5–44,0	↑24,0– 29,0	90°						
	↑24,0–34,7	↑20,0–36,0	↑25,5–35,5	↓30,0–28,5	при 90 мкм–29,0		75°						
	↑23,0–26,4	↑15,0–33,0	↑20,0–28,5	↑24,0–24,5	при 90 мкм–24,0		60°						
	↑12,6–20,3	↑24,5–36,0	при 100 мкм– 23,0	60–150 мкм– ↓29,5–15,0	90– 150 мкм– ↑20,0–28,5		51°						
Візуальна оцінка зразків V_q	↑4,2–4,2	↑4,1–4,3	↑3,8–4,3	↑4,2–4,3	↑3,8–4,7	↑2,7–4,2	90°						
	↑3,5–3,6	↑3,4–3,6	↑3,2–4,1	↑3,2–3,8	при 90 мкм–3,5		75°						
	↓3,5–3,4	3,5–3,5	↑3,0–4,0	↑3,1–3,6	при 90 мкм–3,4		60°						
	↓2,6–2,5	↑2,7–2,8	при 100 мкм– 2,7	60–150 мкм– ↑2,4–3,0	90– 150 мкм– ↑2,7–2,9		51°						
Узагальнений показник якості Q	↓2,88–2,54	↑2,42–2,55	↑2,68–2,83	↑2,44–3,10	↑2,59–3,07	↑2,05–2,77	90°						
			↑2,70–2,96	↑2,43–2,82	при 90 мкм–2,67		75°						
			↑2,41–2,62	↑2,14–2,77	при 90 мкм–2,52		60°						
			при 100 мкм– 2,05	↑1,91–2,15	90– 150 мкм– ↓2,08–2,01		51°						

*↑ – позитивна кореляція показника, ↓ – негативна кореляція показника, ↑↓ – немає кореляції.

Проведений також кореляційний аналіз залежності кожного показника окремо від вхідних факторів, а також кореляційний аналіз залежності узагальненого показника якості від технологічних факторів, на основі чого проведено ранжирування факторів за вагомістю їхнього впливу: ширина друкувальних елементів – профіль друкувальних елементів форми – глибина друкувальних елементів – тиск у друкарському контакті – швидкість друкування – ширина профільних елементів форми.

У п'ятому розділі «Розроблення технологічного забезпечення якості у процесі металографічного друку із застосуванням розробленого програмного забезпечення визначення залежності показників якості друкування від технологічних факторів було розроблено систему технологічного забезпечення якості відбитків металографічного друку (рис. 10), користуючись якою в умовах виробництва можна підвищити автоматизацію процесу контролю якості відбитків, унормувувати їх відтворення та покращувати параметри за рахунок корегування технологічних режимів друкування. За допомогою розробленого програмного забезпечення

визначення залежностей показників якості відбитків металографічного друку при заданих параметрах технологічного процесу, в основу якого покладено алгоритм методу групового урахування аргументу, було отримано адекватні за критерієм Фішера залежності показників якості відбитків від технологічних факторів, при використанні яких стає можливим прогнозування якості відбитків.

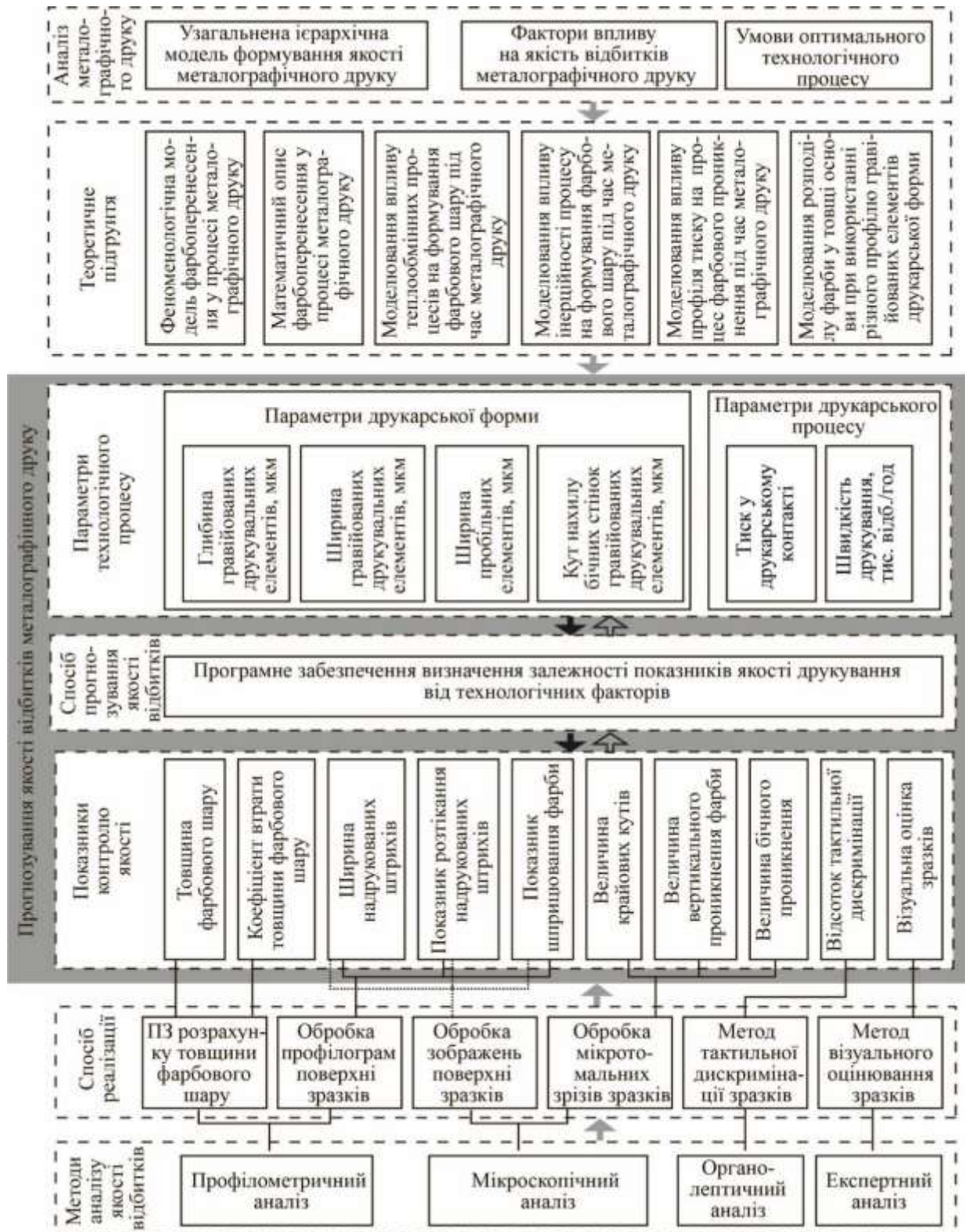


Рис. 10. Система технологічного забезпечення якості відбитків металографічного друку

У **додатках** наведено результати проведених досліджень визначення залежності показників якості від технологічних параметрів металографічного друку, розрахунки показників якості, документи про практичне впровадження результатів дисертаційної роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі проведених досліджень вирішено важливу науково-прикладну проблему – виявлено закономірності впливу параметрів технологічного процесу на якісні характеристики відбитків. При цьому отримано такі результати:

1. На підставі детального аналізу фахової літератури, науково-технічних і патентних джерел розроблено узагальнену ієрархічну модель показників якості відбитків металографічного друку, у якій визначено групу показників якості та виділено основні фактори впливу на неї, на основі чого було визначено умови якісного технологічного процесу металографічного друку.

2. У ході теоретичного аналізу розроблено феноменологічну модель та здійснено математичний опис фізичних процесів, які відбуваються під час фарбоперенесення при металографічному друці, на основі чого було визначено основні технологічні параметри, які здійснюють вплив на якість відбитків металографічного друку. Найбільш дієвими засобами впливу на якість фарбового рельєфу визначено геометричні параметри друкарської форми, а також технологічні параметри друкування, такі як тиск та швидкість.

3. Виявлено закономірності розподілу фарби в об'ємі задрукованого матеріалу під час металографічного друку, здійснено моделювання фарбового проникнення, що дозволяє визначати глибину проникнення фарби залежно від профілю тиску, який діє впродовж усього друкарського контакту. Здійснено моделювання впливу теплообмінних процесів та інерційності процесу на формування фарбового шару при металографічному друці, яке пояснює причину асиметричності форми поперечного перерізу штрихів, отриманих металографічним друком.

4. Результати моделювання підтверджено експериментальними дослідженнями із застосуванням розробленої методики визначення узагальненого показника якості металографічного друку, яка базується на профілометричному аналізі відбитків, дослідженнях світлової мікроскопії поверхні і зрізів відбитків, органолептичному аналізі та візуальному оцінюванню зразків, і дозволяє підвищувати об'єктивність оцінювання якості та виявляти закономірності впливу параметрів технологічного процесу на показники якості відбитків металографічного друку.

5. На основі результатів експериментального дослідження було рекомендовано застосування друкарської форми із гравійованими елементами прямокутного профілю або трапецієподібного при куті нахилу бічних стінок 75° із шириною гравіювання, більшою за глибину гравіювання щонайменше у 1,3 разів; за зниженої швидкості друкування та підвищеного тиску у друкарському контакті.

6. На основі кореляційного аналізу залежності узагальненого показника якості від технологічних факторів проведено ранжирування факторів за вагомістю їхнього впливу: ширина друкувальних елементів – профіль друкувальних елементів

форми – глибина друкувальних елементів – тиск у друкарському контакті – швидкість друкування – ширина профільних елементів форми. Ці висновки стали підґрунтям для рекомендацій, наданих БМД НБУ щодо забезпечення якості металографічного друку під час використання форм, виготовлених прямим лазерним гравіюванням.

7. На основі розробленого програмного забезпечення визначення залежності показників якості друкування від технологічних факторів, а також програмного забезпечення визначення товщини фарбового шару відбитків за профілометричними даними було розроблено систему технологічного забезпечення якості відбитків металографічного друку, користуючись якою в умовах виробництва можна підвищити автоматизацію процесу контролю якості відбитків, унормувувати їх відтворення та покращувати параметри за рахунок корегування технологічних режимів друкування.

6. Розроблено технологічні рекомендації щодо оперативного прогнозування показників якості друкування при зміні технологічних факторів процесу, які забезпечують економічний ефект у розмірі 55,27 тис. грн та 18,45 тис. грн від їх впровадження у виробництво за рахунок зменшення кількості браку матеріалів, що підтверджено актом впровадження на Державному підприємстві «Київська офсетна фабрика» та в Державному видавництві «Преса України» Державного управління справами. Результати досліджень впроваджено в навчальний процес на кафедрі технології поліграфічного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського при підготовці фахівців за спеціалізацією «Поліграфічні медіатехнології» (спеціальність 186 «Видавництво та поліграфія») за освітнім ступенем «бакалавр» під час проведення практичних та лабораторних робіт з дисципліни «Поліграфічне матеріалознавство» та за освітнім ступенем «магістр» у лекційному курсі і практичних роботах з дисципліни «Захист інформації в поліграфії».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Киричок Т. Ю. Вплив металографічного друку на міцнісні характеристики банкнотного паперу / Т. Ю. Киричок, О. В. Гуца (Коротенко) // Технологія і техніка друкарства : зб. наук. пр. – Київ, 2012. – № 2 (36). – С. 4–10.

Авторкою проведено літературний огляд за темою дослідження, встановлено залежності міцнісних характеристик банкнотного паперу від технологічних особливостей процесу металографічного друку.

2. Киричок Т. Ю. Дослідження зміни характеристик зразків банкнот під час імітації зношування / Т. Ю. Киричок, В. М. Нестеренко, Є. Г. Сухіна, О. В. Гуца (Коротенко) // Технологія і техніка друкарства : зб. наук. пр. – Київ, 2012. – № 4(38). – С. 4–25.

Авторкою проведено дослідження впливу рівня тиску в друкарському контакті у процесі металографічного друку на зносостійкість банкнот.

3. Киричок Т. Ю. Тактильна дискримінація паперових банкнот після лакування вододисперсним лаком / Т. Ю. Киричок, А. М. Мережинська, О. В. Гуца (Коротенко) // Технологія і техніка друкарства : зб. наук. пр. – Київ, 2014. – № 1 (43). – С. 13–20.

Авторкою проведено експериментальні дослідження тактильної дискримінації зразків, покритих вододисперсним лаком.

4. Киричок Т. Ю. Вплив фарб металографічного друку, їх композиційного складу на експлуатаційні властивості банкнотних відбитків / Т. Ю. Киричок, Є. Г. Сухіна, О. В. Гуца (Коротенко) // Технологія і техніка друкарства : зб. наук. пр. – Київ, 2014. – № 2 (44). – С. 4–22.

Авторкою виведено закономірності впливу композиційного складу фарб на експлуатаційні властивості відбитків, надрукованих при різних технологічних режимах металографічного друку.

5. Киричок Т. Ю. Методологія дослідження якості штрихів металографічного друку за допомогою профілографування поверхні відбитків / Т. Ю. Киричок, О. В. Гуца (Коротенко), Є. Г. Сухіна, М. В. Пінчук // Технологія і техніка друкарства : зб. наук. пр. – Київ, 2015. – № 2 (48). – С. 4–14.

Авторка брала участь у розробці робочої гіпотези, на основі якої було розроблено методологію дослідження якості зразків, надрукованих металографічним друком, за допомогою профілографування поверхні.

6. Киричок Т. Ю. Технологічні фактори впливу на товщину фарбового шару на відбитках металографічного друку / Т. Ю. Киричок, О. В. Коротенко // Технологія і техніка друкарства : зб. наук. пр.. – Київ, 2015. – № 4 (50). – С. 4–14.

Авторкою проведено літературний огляд за темою дослідження та розроблено класифікацію факторів впливу на товщину фарбового шару на відбитках металографічного друку.

7. Киричок Т. Ю. Вплив геометричних параметрів друкувальних елементів форми на тактильність відбитків металографічного друку / Т. Ю. Киричок, О. В. Гуца (Коротенко) // Квалілогія книги : зб. наук. пр.. – Львів, 2015. – № 2 (28). – С. 22–26.

Авторка адаптувала методiku тактильної дискримінації для зразків, надрукованих металографічним друком, при різних геометричних параметрах друкувальних елементів друкарської форми.

8. Киричек Т. Ю. Использование контактной и бесконтактной профилометрии для исследования поверхности оттисков металлографской печати // Т. Ю. Киричек, Е. В. Коротенко // Труды БГТУ. – Мн. : БГТУ, 2016. – С. 16–21. **(іноземне видання)**

Авторкою здійснено порівняльний аналіз контактної та безконтактної профілометрії при дослідженні зразків, надрукованих металографічним друком, на основі проведених авторкою експериментальних досліджень.

9. Пат. № 102351 Україна, МПК (2015.01) G07D 7/00, G01N 27/22 (2006.01). Спосіб оцінки зношеності банкнот / Т. Ю. Киричок, Є. Г. Сухіна, О. В. Гуца (Коротенко); заявник і патентовласник Т. Ю. Киричок, Є. Г. Сухіна, О. В. Гуца (Коротенко); № u201504060; заявл. 27.04.2015 р.; опублік. 26.10.2015 р. – Бюл. № 20.

Авторка здійснила патентний пошук для аналізу способів оцінки зношеності банкнот, які використовуються у світі, та брала участь у розробленні методики оцінювання якості зношеності банкнот.

10. Пат. № 103510 Україна, МПК (2015.01) G07D 7/00. Метод випробування, що імітує процес зношування банкнот / Т. Ю. Киричок, О. В. Гуца (Коротенко), Є. Г. Сухіна; заявник і патентовласник Т. Ю. Киричок, О. В. Гуца (Коротенко), Є. Г. Сухіна; № u201504058; заявл. 27.04.2015 р.; опублік. 25.12.2015 р. – Бюл. № 24.

Авторка розробила окремі конструктивні елементи імітатора обігу банкнот.

11. Пат. № 118347 Україна, МПК (2016.01) G07D 7/12; G07D7/20. Пристрій для контролю механічної стійкості фарбового шару інтаглідруку / П. О. Киричок, Ж. Т. Кажмуратов, О. В. Коротенко, Н. Л. Талімонова, Д. С. Булатов, Є. Г. Сухіна; заявник і патентовласник Т. Ю. Киричок; № u201612816; заявл. 16.12.2016 р.; опублік. 10.08.2017 р. – Бюл. №15.

Авторка брала участь у розробленні окремих конструктивних елементів пристрою для контролю механічної стійкості фарбового шару інтаглідруку

12. Гуца (Коротенко) О. В. Дослідження факторів, що впливають на зношування паперових банкнот / О. В. Гуца (Коротенко), Є. Г. Сухіна // Технологія і техніка друкарства: новітні технології і обладнання поліграфії : міжнар. наук.-техн. семінар студентів і аспірантів, профес.-виклад. складу. – Київ, 2013. – С. 3–4.

Авторкою узагальнено та систематизовано фактори, які впливають на зношування банкнот у реальному обігу.

13. Гуца О. В. (Коротенко) Зміни основних характеристик банкнот, що відбуваються в процесі їх зношування / О. В. Гуца (Коротенко) // Друкарство молоде : доповіді XIII Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і аспірантів. – Київ, 2013. – С. 11–12.

14. Gushcha O. V. (Korotenko) Influence of intaglio printing on the durability characteristics of banknotes / O. V. Gushcha (Korotenko) // Друкарство молоде : доповіді XIV Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і аспірантів. – Київ, 2014. – №2. – С. 10–11.

15. Коротенко Е. В. Влияние изменений уровня давления в зоне печатного контакта на качество оттисков при металлографской печати / Е. В. Коротенко // Издательское дело и полиграфия : тезисы 80-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–12 февраля 2016 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. М. Жарский ; УО БГТУ. – Мн. : БГТУ, 2016. – С. 35.

16. Коротенко Е. В. Систематизация показателей качества защищенной продукции / Е. В. Коротенко, Т. Е. Клименко // Скориновские чтения 2016 : книга как феномен культуры, искусства, технологии : материалы II Междунар. форума (Минск, 6–7 сент. 2016 г.). – Мн : БГТУ, 2016. – С. 192–198.

Авторкою розроблено класифікацію показників якості захищеної продукції.

АНОТАЦІЯ

Коротенко О. В. Технологічне забезпечення якості банкнот під час металографічного друку. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.01 – машини і процеси поліграфічного виробництва. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2018.

Дисертаційна робота присвячена встановленню закономірностей впливу технологічних факторів металографічного друку на якість відбитків. Для виконання роботи було використано профілометричні методи дослідження поверхні зразків (механічна, оптична профілометрія); мікроскопічні методи дослідження поверхні та

мікротомних зрізів зразків; органолептично-експертний метод тактильної дискримінації зразків; експертний аналіз якості зразків.

Розроблено узагальнену ієрархічну модель формування якості відбитків у процесі металографічного друку, розроблено комплекс моделей залежності якості відбитків від технологічних факторів, експериментально підтверджено характер залежності формування фарбового рельєфу від параметрів друкарської форми та факторів друкарського процесу. Також у роботі здійснено моделювання впливу теплообмінних процесів та інерційності процесу на процес формування фарбового шару та моделювання впливу профілю тиску у друкарському контакті та виду профілю гравійованих елементів форми на процес проникнення та розподіл фарби в об'ємі паперу.

Ключові слова: металографічний друк, банкноти, контроль якості, фарбовий шар, гравійована друкарська форма.

АННОТАЦИЯ

Коротенко Е. В. Технологическое обеспечение качества банкнот во время металлографской печати. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.01 – машины и процессы полиграфического производства. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2018.

Диссертация посвящена установлению закономерностей влияния технологических факторов металлографской печати на качество оттисков. Для выполнения работы были использованы профилометрические методы исследования поверхности образцов (механическая, оптическая профилометрия) микроскопические методы исследования поверхности и микротомальных срезов образцов; органолептически-экспертный метод тактильной дискриминации образцов; экспертный анализ качества образцов.

В результате работы была разработана обобщенная иерархическая модель формирования качества оттисков в процессе металлографской печати, разработан комплекс моделей зависимости качества оттисков от технологических факторов, экспериментально подтвержден характер зависимости формирования красочного рельефа от параметров печатной формы и факторов печатного процесса. Также в работе осуществлено моделирование влияния теплообменных процессов и инерционности процесса на процесс формирования красочного слоя и моделирования влияния профиля давления в печатном контакте и вида профиля гравированных элементов формы на процесс проникновения и распределение краски в структуре бумаги.

Ключевые слова: металлографская печать, банкноты, контроль качества, красочный слой, гравированная печатная форма.

ANNOTATION

Korotenko O. V. The technological assurance of banknotes quality in the process of intaglio printing. – Manuscript.

The thesis for the degree of Candidate of Engineering Sciences on specialty 05.05.01 – machines and processes of printing production. – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2018.

Intaglio printing is one of the basic methods for protection of the strict accounting documents, in particular banknotes, all over the world. The peculiarity of this printing method is the possibility to form the strokes with different ink layer thickness (up to 320 microns) on the prints. It provides identification of the authenticity of the strict accounting documents by the public, including visually impaired people. But there is the paucity of theoretical and practical developments regarding the intaglio printing. Thus, the determination of the principles of the ink layer formation and its dependence on the influence of technological parameters of the process to provide high quality of intaglio printing is an topical scientific and technical task.

The dissertation is devoted to establish the regularities of the influence of the intaglio printing technological factors on the prints quality.

The generalized hierarchical model of prints quality forming, based on a detailed analysis of professional literature and scientific sources, was developed. A group of quality indicators and the main technological factors that influence prints quality were determined for the generalized hierarchical model of prints quality forming.

The phenomenological model of intaglio ink transferring was developed and a mathematical description of physical processes, occurring during intaglio ink transferring, was made. Thus, the basic technological parameters that influence the prints quality were determined. It was found that the most effective factors that influence the quality of the ink relief forming are the geometric parameters of the plate as well as the technological print parameters, such as print pressure and print speed.

The model of intaglio ink penetration and its distribution during intaglio printing was created. It allowed to investigate how the pressure that acts throughout the printing contact can influence the ink penetration depth. The modeling of the influence of heat exchange processes and the inertia of the process on the intaglio ink layer formation was carried out. These models explained the cause of asymmetry of the cross-sectional shape of strokes obtained by the intaglio printing.

The results of modeling are confirmed by experimental research which was carried out with using of the developed method of determination of the generalized quality index of intaglio printing. The determination of the index is based on surface profilometric and microscopic analyses as well as on organoleptic and visual analyses of prints.

The method allowed to increase the objectivity of quality evaluating and detect the regularities of the influence of the technological process parameters on the intaglio prints quality parameters.

Based on the experimental study results, it was recommended to use a printing plate with the engraved elements of a rectangular profile or trapezoidal profile with an angle of 75 degrees and the element width to depth ratio of more than 1.3 times. It was also recommended to use reduced printing speed and high pressure in printing nip.

The correlation analysis of the dependence of the generalized quality index on technological factors was made. As a result, the ranking of the factors on the weight of their influence was carried out. These conclusions became the basis for the recommendations given to the NBU Banknote Printing and Minting Works. The recommendations were aimed at ensuring the quality of the intaglio printing which is produced by the plates made by direct laser engraving.

The system of technological assurance of banknotes quality in the process of intaglio printing was developed. As a basis for the system, the developed software for determining of the dependence of the quality printing parameters on technological factors as well as the software for determining of the ink layer thickness were used.

By using this system in the manufacturing it is possible to improve the autonomy of the prints quality control process and to normalize the reproduction.

Keywords: intaglio printing, banknotes, quality control, ink layer, engraved printing plate.